桜島火山における各種微動の伝ぱ速度*

鹿児島地方気象台*

551.21

Velocities of Propagation of Earth Tremors and Seismic Waves near Volcano Sakurajima

Kagoshima Local Meteorological Observatory

We estimated the velocities of propagation of earth tremors and seismic waves near Sakurajima from our field experiments during September to November 1958, using a new recorder designed by us. Earth tremors at two stations were recorded in parallel. Electro-magnetic transducer of moving coil type were used. The magnification was about 5000. As the results, we obtained the followings: velocity of surface wave caused by ship; 0.67 km/sec, velocity of surface wave caused by bus; 0.9 km/sec, *P*-wave velocity of B-type tremor; 1.68 km/sec, *P*-wave velocity of D-type earthquake; 1.53 km/sec.

§1. はしがき

従来，桜島火山における地震波動伝ぱ速度の測定結果について発表されたものは数少く，わずかに昭和31年に地震研究所田中貞二氏[1]が西道の深さ30mの深井戸中に地震計を沈めて測定した近距離表面波の速度0.8 km/sec，および同研究所の水上氏等[2]による爆発地震から*P*波の速度として1.8〜2.0km/secがあるに過ぎぬ．他に安井豊・伊地知勝三郎[3]が桜島火山爆発に伴う空振波を地震計記象中から験出し，空振波速度を音速と仮定して推定した諸値，

	crater-Hakamagoshi	crater-Kagoshima
Velocity of *P* waves	1.88km/s	2.40km/s
Velocity of *S* waves	1.03	——

があるが，これは空振波速度を音速と仮定したところに難点がある．

* Received Feb. 21, 1959.

** 安井 豊・野田義男・利光貞夫・東谷幸男

1) 田中貞二：桜島における微動測定（地表と井戸底の比較）火山，S. 2, Vol. 2, No. 1, p. 52.

2) 水上武他：桜島の活動に伴う地震について，火山 S. 2, Vol. 1, No. 1, p. 65.

3) 昭和33年5月西部気象研究会で発表，未印刷．

一方，従来われわれが地震計を置いていた袴腰地震計室（これを1号点と略称する）および袴腰の北方城山山ろくの防空壕（これを3号点と略称，この中の地震計を3号と略称する）では袴腰岸壁の渡船接岸などによる雑微動を多く感じ，火山性微動の験出に不便なため，横山部落に地震計台2基を設置（部落中ほどのものを5号点，奥のものを6号点と略称する），それぞれ1号点と有架電線により連絡せしめ，1号点に3台の記録器をおいて各点の微動を記象せしめて，各点における微動特性の把握と波動伝ぱ速度の測定を行おうと計画した．しかるにせっかく架設した電線と地震計が雷災により焼損して使用しうる地震計が2台となったこと，3号点と5，6号点の距離が短くて伝ぱ速度の測定は困難らしかったので気象研究所の研究費により新たに降旗山ろく（これを7号点と略称，この中の地震計を7号と略称する）に地震計台を設けて，1号点より6号点を経て大正溶岩中に有架電線を架設して7号点と1号点を結び，5，6号点を廃止してその代り6号点にロビンソン風速計1基を設置してその電接状況をも1号点で記録せしめるようにした．各点の配置はFig. 1に示してある．

架線には抗張力の強い大日電線株式会社製の鋼銅2より線（鋼線3心，銅線4心）を用い，高さ3m（地上2.5m）の細電柱を平均25m間隔にならべてがい子を付し，導線をがい子に巻きつけてバインダーで固く縛った．電

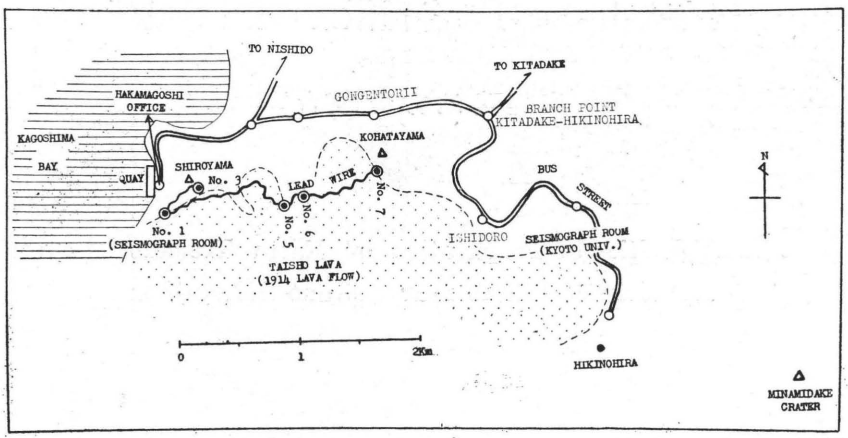


Fig. 1.　Map showing the observation stations.

distance	from	to
5550m	Minamidake	No. 1
5350	crater	No. 3
3900	〃	No. 7
1600	〃	Hikinohira
340	No. 3	No. 1
1550	〃	No. 7
300	〃	Hakamagoshi Office
1850	No. 7	No. 1
1850	〃	Hakamagoshi Office

線の95%以上は溶岩上を通っているので，電柱を立てて導線を引張る方法は導線の寿命を長くし雑微動を入れない点ではよく，建設費も大したものではないが，落雷し易いのが大欠点である．

§2. 研究使用機器

地震計としては動コイル型直視式地震計（気象庁型式56型）を用い，その構成は動コイル型変換器（56-1型），低周波増幅器（56-1型），記録装置（56型）からなっている．

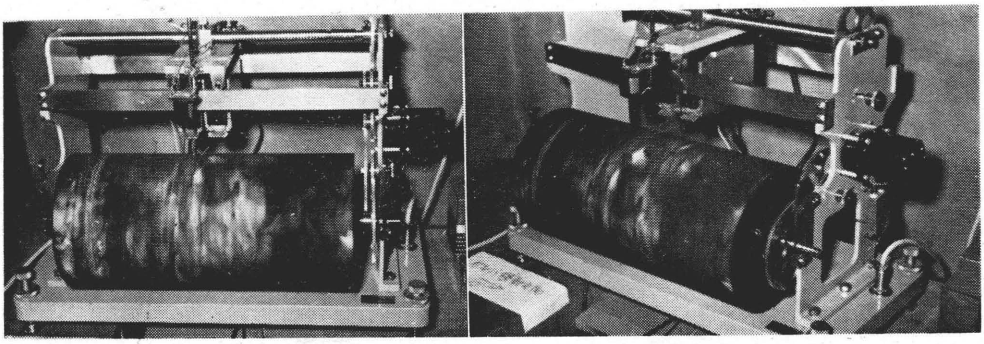
変換器は勝島計機製作所製のもので水平成分だけで固有週期 1 sec，出力コイル両端に並列抵抗接続による電磁制動を用いている．据付場所は地下に数本の丸太を打ち込み，その上にブロックを積んでセメントで固定した地震計台の上に Fig. 2 のように設置し，線輪の振動方向は該点と爆発火口を結ぶ方向とした．

低周波増幅器は定電圧安定装置，電源部，増幅部から構成されていて，CR結合によるプッシュプル3段増幅回路で，最大利得は負荷抵抗 5kΩ を接続して 1c/s のとき 70db，増幅帯域 1～10c/s，10c/s 以上切断してある．今回の観測においては倍率約3000～5000で使用した．記録装置は気象庁型式56型の他に新型記録器[4]を使用した．56型記録装置は同期電動器によって駆動され1分の長さ 120mm（記録時間6時間），60mm（記録時間12時間）30mm（記録時間24時間）の3段に切



Fig. 2.　Seismometer installed at point No. 7.

4)　この記録器の考案は今里，野田，中村があたり故樋口長太郎氏の御意見等もとり入れ，野田が設計を担当し，勝島計機製作所により製作された．



(1)　　(2)

Fig. 3. The front and side view of new recorder.

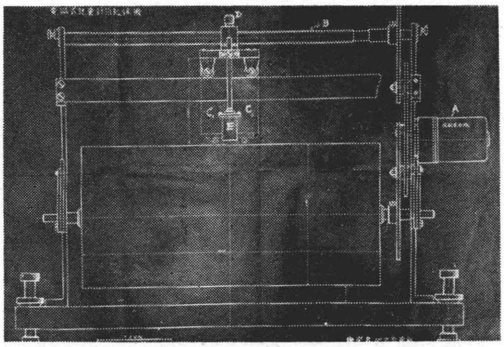


Fig. 4-1. Blueprint of new recorder: front project.

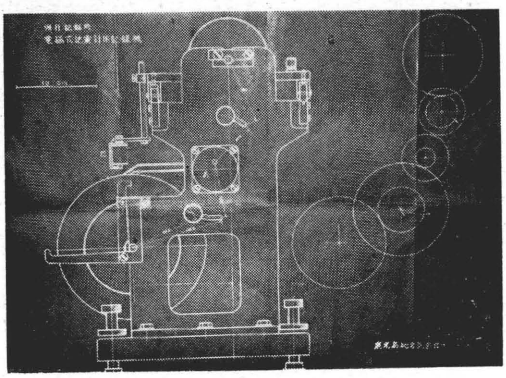


Fig. 4-2. Blueprint of new recorder: side project.

換えられるようになっている．これらの機器の詳細は動コイル型直視式地震計取扱説明書[5]並びに動コイル型直視式地震計保守要領[6]等に記されている．

5) 気象庁観測部地震課：動コイル型直視式地震計（気象庁型式56型）取扱説明書，1956年12月．

6) 気象庁観測部地震課：動コイル型直視式地震計（56型）保守要領，1958年10月15日．

上記新型記録器はFig. 3に示すようにガルバノメーターを逆吊としてこれを横に移動せしめ，ドラムは回転するだけで軸方向には移動しない形式をとった．Fig. 4の設計図で見られるようにAの同期電動機によりドラムおよび角ネヂ棒Bを回転，これにかみ合うDにより，2地点においた変換器の記録用ガルバC_1，C_2を移動させ2地点の地動の平行記録が得られるようになっている．ダボDはこれを押してガルバを起点に戻すためのものであり，Eはペロン付きの電磁石でこの回路にロビンソン風速計による電接を入れ風速も同時記録できるようになっている．

各種歯車の組み合せにより記象の1分の長さおよび記象ピッチをTab. 1の例のようにいろいろに変えうるようになっている．

ただし平素は無人観測室用であるので普通には長時間用として記象1分の長さ60 mm，記録時26時間の組み

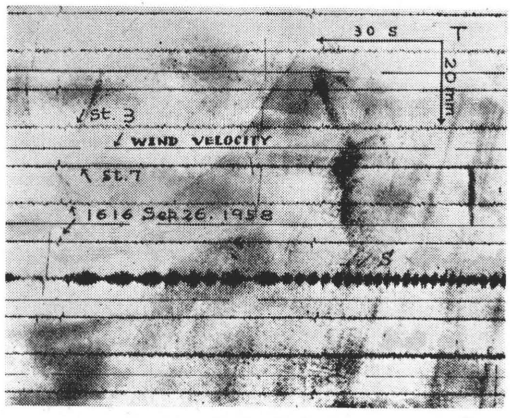


Fig. 5. Record obtained by new recorder (ground motion at stations No. 3, No. 7 and wind velocity was recorded in parallel in a paper)

Table 1. Combinations of gear-wheels in new-recorder.

Period of drum's rotation	Length of one minute on seismogram	Pitch between adjacent lines on seismogram	Recording time	Radius of gear-wheel				
				Drum	No. 1	Motor	No. 2	Square Thread
5min/r	120mm	16.9mm	104m	60*	30 60	30 12	30 20	40
10	60	18.0	195m	60	30 60	30 12	30 20	50
5	120	1.12	26h	60	30 60	30 12	14 48	70
10	60	2.25	26h	60	30 60	30 12	14 48	70
5	120	9.0	195m	60	30 60	30 12	30 20	50
10	60	33.7	104m	60	30 60	30 12	30 20	40

* Hyphonated gear-wheels are coupled each other.

合せで3号のみを1日間記象せしめ7号は正規の記録器により記象せしめ，ただ刻時用時計を共同使用することとし，研究に必要な特殊時のみ1分の長さおよび記象ピッチを延伸して3号，7号を新型記録器に平行記録せしめ，その間は観測員を付添わせることとした．Fig. 5はこの記録器による記象例である．

§3. 風などによる雑微動

以前に5号，6号で臨時観測をしていたころは5号には出ないにもかかわらず6号にのみ，あるいは5号では弱いにもかかわらず6号にはかなり強く連続微動様の雑微動が現われたことがあった．6号点は5号点よりも風当りが強いところなので，あるいは風による付近岩塊の振動が雑微動として現われるのではないかと考え，6号点付近にロビンソン風速計を設置して風速と雑微動の関係を調べてみたが，はっきりした関係を見出すことはできなかった．しかし鹿児島には本年は1回の台風来襲もなく，強風時というものがなかったので，次年に強風時を利用して再観測をいたしたい．

3号，7号共にほとんど定時的に現われる雑微動がある．Fig. 6-1 にその1例を示すように通常7時ごろから強くなりだして10時ごろに強くなり，15時ないし17時ごろからまた強くなりだして20時ごろには終るが，時として昼間もずっとこの雑微動が連続することがある．これは主に交通機関によるものと考えられる．また，まれには終夜連続することもある (Fig. 6-2 参照)．このような雑微動は周期が少し大きく気象的なじよう乱に起因するものが多いようであるが，これらの中には火山性のものも含まれていると考えられ，人工的・気象的なも

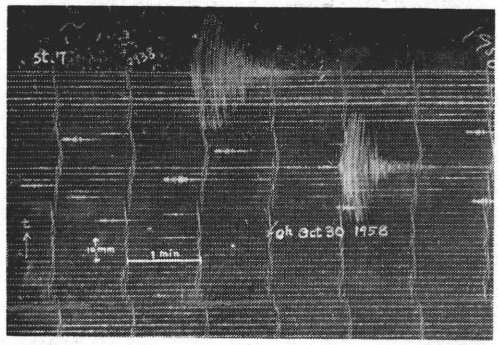


Fig. 6-1. Record at point No. 7
Two big earthquakes are D-type earthquakes caused by explosions and some records in the middle part are those of B-type.
Fine continuous records in the upper part are earth tremors due to ships and buses, but it is not known that those in the lower part may be tremors due to weather conditions or volcanic tremors.

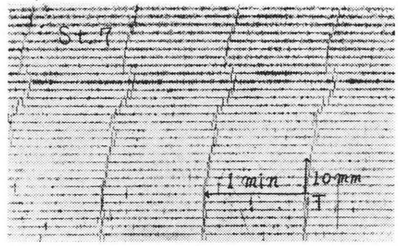


Fig. 6-2. Noise at point No. 7. due to Typhoon No. 5821, Sept. 16, 1958.

のと火山性のものをよりわけることが今後の問題となる．これらの雑微動の発現状態は潮の干満などに大きく影響されているようだし，また日の出，日没前後の日射量の変動によって山体に生ずる膨張，収縮の影響ではないかとも思われるが，この種の雑微動についてもさらに調査を要しよう．

§ 4. 船の接岸による振動

前に述べたようなはっきりしない雑微動ではなく，Fig. 7 および Fig. 5 中のSに示すように明らかに袴腰岸壁での渡し船の接岸による振動とわかる微動があり，1日最低14回はあるので記象読み取り上大きな障害になっていた．その程度は船種（第1・3・5桜島丸はそれぞれ大きさが異なる），積荷，乗客の多少，接岸の方法（横付け，軸付け）その他によって左右されるが，おおむね近距離の3号で大きく遠距離の7号ではほとんど読み取れぬぐらいに小さい．

この障害となっている微動の伝ぱを逆に利用して桜島海岸近くの地動伝ぱ速度を測定しようと思いたち，特別にチャーターした船を破損しない程度に岸壁に衝突させ，その振動を記録せしめた．この実験は昭和33年9月24日，10月14，15日に行ったが空船であり，かつ船の破損をさけるため衝突部にゴムタイヤをはさんで使用したため，振動は3号点のみに現われて7号点には現われなかった．また，測定精度は記象の方は0.1 sec 単位で読取れるが衝突時はまず 0.2 sec はすでにあやしいので，岩壁より3号点までの300m 波動走時をとるのは困難であったが，比較的信用し得る測定値の平均では0.67 km/sec が得られ，集中度の大きいのは 0.75 km/sec であった．この波動はおそらく表面波であろう．

3号における最大振幅は接岸激突時に多く現われ，半振幅 0.3〜0.6μ ぐらい，周期は約 0.2 sec ぐらいであるが，接岸時より1〜2 sec 前から微動が現われ，離岸後は 25 sec ないし 2 min ぐらいまではかなりの微動が残る．これは接岸時には速力微速でかなり走らせ，また後進による岸壁付近の海水じよう乱などが影響し，離岸時には速力を大にして船尾を岸壁方向に向けかえつつ走り去って同じく動水圧を岸壁に加えるためであろう．

§ 5. バスによる微動の伝ぱ

従来3号，7号共に付近を通行するトラック・バスによる振動ではないかと思われる微動を記象していたので，今回はそれを確めることとした．1号点から望見していたところ，袴腰に発着するバス・トラックは明らかに3号点に微動をえがかせることFig. 5 の上部に示すようであるが，これは7号点にははっきりした影響は示さなかった．

昭和33年9月24日に西桜島村から大型バスを借用し，袴腰——引の平間の登山道路に沿って運行させ，途中なるべく土地に衝撃をあたえるように急停車させてその振動を3，7号に感じさせ，それを新型記録計に平行記録させて波動の伝ぱ速度を測定しようと試みた．しかし乗車人員が少なくかつ距離がかなり遠かったため，Fig. 1

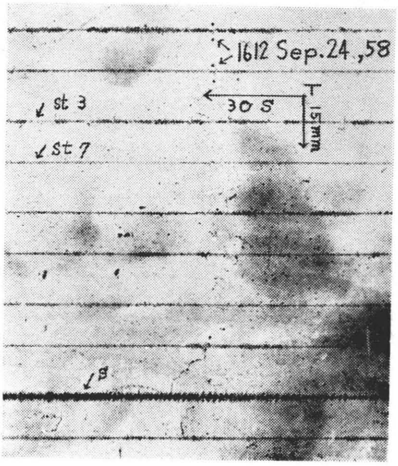


Fig. 7. The ground noise caused by bus. (the ground noise with mark "S" are caused by ship)

Observation time	Classification	Arrival time of tremors at No. 7	No. 3	Diffrence of arrival time No. 3–No. 7	Distance between No. 3 and No. 7	Velocity
h m s		s	s	s	m	km/s
16 15 51	Gongentorii: Sudden stop	52.5	51.1	1.4	1180	0.84
16 23 17	Branch point Kitadake-Hikinohira: Start	18.8	17.2	1.6	1500	0.94
17 00 53	Ishidoromae: Sudden stop	——	53.1	——	——	——

に示した各地点で繰り返した8回の急停車のうち，明らかにこれによる振動記録と認められたものは前頁下の数例にすぎなかった．

Fig. 7はその記象例である．

測定例は少ないが表面波らしい波動の伝ぱ速度は約0.9 km/secとみてよいであろう．

なお，§4，5の測定は今後数多く繰り返しても精密な効果があがることは期待されないから，この種の測定はこれで打ち切ることとする．

§6. A型地震・微動の伝ぱ

従来まで考えられていたところによれば桜島火山のA型地震・微動（A型と略称する）の震央は不定・移動性ということであった．事実，今回の測定においても波動が3号よりも7号にはやく来るものを正，3号より7号におそく来るものを負とすれば，各A型についての3号，7号の時差は符号・絶対値共まちまちであり，震央があちこちにあることを物語っている．ただし幾分かは桜島に対して西半分側が東半分側に比して多いようであった．

震源がわからない以上，3号，7号での出現時差がわかっても伝ぱ速度を求めることはできない．また震央が

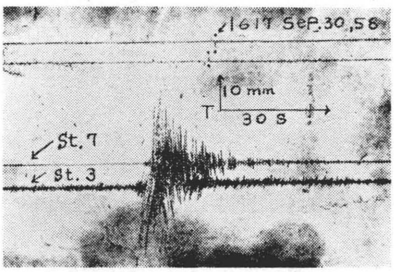


Fig. 8-1. A-type earthquake recorded on new type recorder.

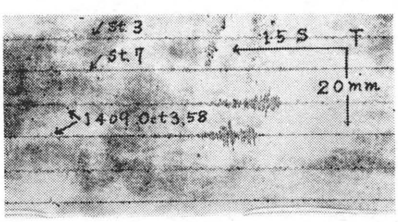


Fig. 8-2. A-type earthquake recorded on new type recorder.

判明したようなやや遠い地震に対しては現在の3号，7号では基線が短かすぎる．さらに，この種やや深い所に発すると思われるA型火山性地震・微動の震源移動が桜島火山活動状態に密接な関連を持つことはほぼ確実なことであるから，そのためにはどうしてももっと長い基線を持った3点以上の観測を行い，震源とその移動状況の決定ならびに伝ぱ速度の測定を行う必要があろう．

Tab. 2は今回の実験中に測定したA型の一部の表であり，Fig. 8はその記象例である．

Table 2. A type earthquake

Station No. 3		Station No. 7		
Time of occurrence	P-S	Time of occurrence	P-S	Difference of arrival time
d h m s	s	m s	s	s
1958 IX 30 14 28 51.4	2.1	28 52.3	1.9	-0.9
14 52 01.7	2.0	52 02.0	1.9	-0.3
15 03 15.2	1.5	03 15.1	1.3	0.1
16 07 41.0	2.5	07 41.2	2.4	-0.2
X 3 11 45 17.2	1.8	45 16.9	1.6	0.3
12 05 19.2	1.7	05 18.5	1.9	0.7
14 08 32.1	1.3	08 32.9	1.3	-0.8
14 14 50.6	3.1	14 51.5	3.5	-0.9
14 23 55.2	0.2	23 55.7	0.3	-0.5
14 42 51.9	0.9	42 52.0	1.1	-0.1
14 56 04.3	0.5	56 04.5	0.6	-0.2
X 13 02 34 03.6	2.7	34 03.6	2.6	0.0
04 06 17.4	4.6	06 17.6	4.6	-0.2
XI 4 04 22 39.6	3.1	22 39.6	2.7	0.0
12 02 59 28.0	1.9	59 27.4	2.0	0.6
16 07 26 36.8	2.8	26 36.0	2.9	0.8
22 20 06 09.2	2.7	06 09.0	2.8	0.2

§7. B型微動の伝ぱ

東大地震研究所の調査によれば，桜島火山のB型微動の震源は爆発火口直下の比較的浅い所のようであり，われわれもそう考えている．また以前にはB型微動では*P*～*S*時は読み取れないとしていたが，今回，高倍率地震計の送りを早くして記象させた結果は極めて短かい*P*～*S*時の読み取れるものもかなりあることが判明した．

震源を爆発火口直下の浅いところとした時，3号，7号の発震時差から測定した結果，*P*波速度として約1.68 km/secが得られた．*S*波についてははっきりしたものが得られなかった．Tab. 3はB型微動の観測表の一部であり，Fig. 6-1はその記象の一例である．

Tab. 3に見られるようにD型地震による発現時差とだいたい一致していることから，微動源はだいたい爆発火口直下であるとしてさしつかえないようである，しかし，時差に多くの差があるのは微動源の昇降による発震

Table 3.　B-type tremor

Station No. 3		Station No. 7		
Time of occurrence	$P-S$	Time of occurrence	$P-S$	Difference of arrival time
d h m s	s	m s	s	s
1958 IX 6 16 56 22.0	—	56 21.2	—	0.8
7 0 46 00.7	—	46 00.3	—	0.4
X 2 0 18 11.0	0.4	18 10.0	—	1.0
0 58 21.3	1.0	58 20.5	—	0.8
1 03 17.0	1.0	03 16.2	—	0.8
1 26 11.0	1.2	26 10.3	—	0.7
1 36 34.4	—	36 33.6	—	0.8
1 52 05.4	—	52 04.2	—	1.2
2 05 36.7	—	05 35.8	—	0.9
3 39 44.3	—	39 43.4	—	0.9
23 05 12.7	—	05 11.9	—	0.8
X 30 2 08 46.6	—	08 45.6	—	1.0
4 48 13.0	—	48 11.8	—	1.2
4 59 05.5	—	59 04.6	—	0.9
5 37 02.8	—	37 02.0	—	0.8
6 02 39.2	—	02 38.5	—	0.7

時差のばらつきが入ってくるためではないかと考えられる．今回の調査は期間的には短期間なので今後の長期にわたる観測により確かめたい．

§ 8.　D型地震（爆発地震の伝ば）

現在のところ，爆発は現爆発火口内にのみ限定されており，その深さは浅いものであるから，爆発地震の震央は一定，震源もほぼ一定とみてよい．したがって3号，7号の発震時差からP波，S波の伝ば速度を求めることができる．計算の結果P波の速度として約1.53 km/sec, S波の速度として約1.17 km/secが求められた．ただしS波は測定数が少ないので，その速度はあまり正確ではない．このP波の速度はB型微動のそれより幾分遅くD型地震源の位置はB型のそれよりさらに浅いことを裏付けるものではないだろうか．Fig. 9はその記象例である．

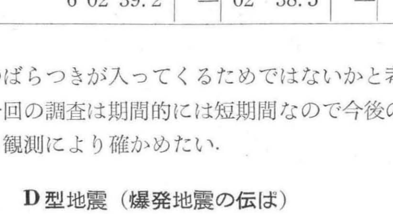


Fig. 9.　D-type earthquake recorded on new type recorder.

観測期間内に記録されたD型地震について読み取りの2，3例をTab. 4にかかげる．

S相は7号点では読み取りにくく3号点では比較的読み取り易いのは3号点の変換器が比較的古い噴出物堆積層中の城山防空壕中にあるためではないかと考えられる．

Table 4.　D-type earthquake

Phase	Time of occurrence		Difference of arrival time
	Station No. 3	Station No. 7	
	d h m s	m s	s
P	1958 X 2 2 58 46.4	58 45.6	0.9
S	2 58 47.3	?	—
P	X 3 16 45 48.25	45 47.25	1.0
S	16 45 49.24	45 47.95	1.3
P	X 15 6 58 30.5	58 29.4	1.1
P	X 31 0 05 14.9	05 14.0	0.9
S	0 05 16.1	05 14.6	1.5
P	XI 25 3 13 49.0	13 48.0	1.0
P	XI 24 23 54 33.0	54 32.0	1.0

また，3号点のD型地震読み取りの中にPより0.3secぐらい前に一つの相（この相をP_xと仮称する）が二，三読み取れた．このP_x相は3号点で記録されたすべてのD型の記象に現われているとは限らないので，今後の観測により確かめたい．また3号点で記録されたD型地震中Pと思われる相より前1 secぐらいの間に2，3相現われ，その最初の相は7号点のPと同時かむしろ十分の数秒早いというようなこともしばしばあった．これは桜島火山のある層によるものか爆発発震機構によるものか，地震計の位置・性能によるものか，今のところ決しがたいので今後の長期にわたる観測調査により究めたいと思うが，この調査は火口より同一方向に一列にならべた5，6箇以上の高倍率地震計の同時記録によって行われればより効果的であると思う．

§ 9.　総　　括

今回の研究観測中得られた各微動の伝ば速度はだいたい次のごとくであった．

ただし＊を付したものは前回の調査において空振波速度を音速と仮定して逆算したものである．

なお，これらの測定値については各相の発現状況にな

Classification of tremors	Observation station	Distance from the source to observation station	Velocity of tremors
earthquakes by ship (surface wave)	quai - No. 3	0. 3km	0. 67km/s
by bus (surface wave)	No. 3 - No. 7	1. 2-1. 5	0. 9
A-type earthq. (tremor)	No. 3 - No. 7	unknown	unknown
B-type tremor (*P* wave)	No. 3 - No. 7	1. 45	1. 68
D-type earthq. (*P* wave)	No. 3 - No. 7	1. 45	1. 53
D-type earthq. (*S* wave ?)	No. 3 - No. 7	1. 45	1. 17
D-type earthp. (*P* wave)	crater - No. 3	5. 4	1. 88*
D-type earthq. (*S* wave)	crater - No. 3	5. 4	1. 03*
D-type earthq. (*P* wave)	crater-Kagoshima	10. 3	2. 40*

お数箇の疑点を残しているが，これは将来もっと精巧な観測機材を使用し，さらに数多くの測定によって解決せねばなるまい．

本報告は気象研究所研究費により鹿児島地方気象台が昭和32年度に行った桜島火山の各種微動の伝ぱ速度測定結果の大要であり，前台長今里能，現台長神原健の指導の下に筆者等の他伊地知勝三郎，植村八郎，山形英雄，中村理祐が観測調査した．この完遂にあたり気象研究所，気象庁本庁，福岡管区気象台よりの援助の他，西桜島村長武定利氏よりは多大の業務上の便宜供与を得たことを記し，あわせて厚くお礼を申し述べたい．